

二点委夜蛾适应性与玉米苗营养物质和次生代谢物质含量的关系

郭婷婷, 门兴元, 于毅, 郭文秀, 张思聪, 孙廷林, 李丽莉*

(山东省农业科学院植物保护研究所, 山东省植物病毒学重点实验室, 济南 250100)

摘要:【目的】二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 是夏玉米 *Zea mays* 苗期的一种新发害虫。本研究旨在测定不同品种玉米苗对二点委夜蛾幼虫的生物学和营养效应, 揭示其发生与玉米品种的关系。【方法】二点委夜蛾 3, 4 和 5 龄幼虫分别饲喂 3 种普通玉米(鲁单 9032、先玉 335、郑单 958)和 1 种甜玉米(超甜 6)苗, 测定幼虫鲜重、干重、存活率、相对取食速率(RCR)、相对生长速率(RGR)、近似消化率(AD)、食物转化率(ECD)和食物利用率(EI), 分析这些指标与玉米苗中营养物质、蜡质和次生物质含量之间的关系。【结果】不同龄期的二点委夜蛾幼虫取食玉米苗的生物学和营养指标有较大差异。4 种玉米苗的营养物质、蜡质和次生物质含量有显著差异。3 龄幼虫取食鲁单 9032 和超甜 6 时相对取食速率、相对生长速率和近似消化率均较高, 其存活率、鲜重、干重、相对取食速率、食物转化率与玉米苗可溶性糖含量呈显著正相关; 相对生长速率与玉米苗蛋白质含量和氨基酸含量均呈显著正相关; 存活率和相对取食速率与玉米苗总酚含量呈显著负相关; 食物转化率与玉米苗单宁含量呈显著负相关。4 龄幼虫取食先玉 335 时鲜重和干重最低, 取食超甜 6 时近似消化率最高, 取食郑单 958 时食物利用率最高, 其鲜重、干重、相对取食速率和相对生长速率与玉米苗总酚含量呈显著负相关。5 龄幼虫取食鲁单 9032 和先玉 335 时鲜重、干重和食物转化率较高, 取食郑单 958 和超甜 6 时相对取食速率和近似消化率最高, 取食先玉 335 的食物利用率最高, 其相对生长速率与玉米苗蛋白质、氨基酸含量显著正相关。【结论】随着幼虫龄期的增加, 二点委夜蛾在玉米上的适应性提高; 二点委夜蛾幼虫对玉米的适应性与其玉米叶片中可溶性糖、蛋白质和氨基酸含量呈正相关, 与总酚和单宁含量呈负相关。

关键词: 二点委夜蛾; 寄主植物; 玉米; 营养效应; 营养物质; 次生物质

中图分类号: Q965 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2018)08-0984-07

Relationship between the adaptability of *Athetis lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae) and the contents of nutrients and secondary metabolites in maize seedlings

GUO Ting-Ting, MEN Xing-Yuan, YU Yi, GUO Wen-Xiu, ZHANG Si-Cong, SUN Ting-Lin, LI Li-Li*
(Key Laboratory for Plant Virology of Shandong, Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: 【Aim】*Athetis lepigone* outbreaks recently and seriously damages summer maize (*Zea mays*) seedlings in China. This study aims to determine the biological and nutritional effects of different maize cultivars on *A. lepigone* larvae and to understand the relationship between the occurrence of this pest and maize cultivars. 【Methods】The 3rd, 4th and 5th instar larvae of *A. lepigone* were fed on three regular

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0300705); 山东省重点产业关键技术创新工程(CXGC2016B11)

作者简介: 郭婷婷, 女, 1988 年 3 月生, 山东济南人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为昆虫生理生态与害虫综合治理, E-mail: gttthz@126.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zbsli3@163.com

收稿日期 Received: 2018-01-05; 接受日期 Accepted: 2018-05-23

maize cultivars (Ludan 9032, Xianyu 335 and Zhengdan 958) and one sweet maize (Chaotian 6), and their fresh weight, dry weight, survival rate, relative consumption rate (RCR), relative growth rate (RGR), approximate digestibility (AD), efficiency of conversion of digested food (ECD) and efficiency of conversion of ingested food (ECI) were determined, and the relationships between these indexes and the contents of nutrients, wax and secondary metabolites in maize seedlings were analyzed. 【Results】 The biological and nutrition indexes differed among different instar larvae of *A. lepigone* fed on four maize cultivars, and the contents of nutrients, wax and secondary metabolites differed among the four maize cultivars. The 3rd instar larvae fed on Ludan 9032 and Chaotian 6 had higher RCR, RGR and AD than those fed on Zhengdan 958 and Xianyu 335. The survival rate, fresh weight, dry weight, RCR and ECD of the 3rd instar larvae were significantly positively correlated to the soluble sugar content in maize seedlings, the RGR positively correlated to the protein and amino acid contents, the survival rate and RCR negatively correlated to the total phenol content, and the ECD negatively correlated to the tannin content. The 4th instar larvae fed on Xianyu 335, Chaotian 6 and Zhengdan 958 had the lowest fresh weight and dry weight, the highest AD and the highest ECI, respectively. The fresh weight, dry weight, RCR and RGR of the 4th instar larvae were significantly negatively correlated to the total phenol content in maize seedlings. The 5th instar larvae fed on Ludan 9032 and Xianyu 335 had higher fresh weight, dry weight and ECD, while those fed on Zhengdan 958 and Chaotian 6 had higher RCR and AD. The 5th instar larvae fed on Xianyu 335 had the highest ECI. The RGR of the 5th larvae was significantly positively correlated to the protein and amino acid contents in maize seedlings. 【Conclusion】 The adaptability of *A. lepigone* larvae to maize improves with the larval instar, and is positively correlated to the contents of soluble sugars, proteins and amino acids in maize seedlings, and negatively correlated to the total phenol and tannin contents.

Key words: *Athetis lepigone*; host plant; maize; nutrition efficiency; nutrients; secondary metabolites

玉米 *Zea mays* 是世界上种植最广泛的谷类作物之一,也是我国主要的粮食作物。近年来,随着种植集约化、规模化,玉米虫害的发生面积与危害程度呈上升趋势(王振营等, 2012)。其中,新发害虫二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 于 2005 年河北省夏玉米种植中首次被发现,至 2011 年 7 月,在黄淮海 7 省(市)暴发成灾,危害面积近 220 万 hm^2 ,已逐渐发展为玉米田常发害虫(江幸福等, 2011; 王振营等, 2012)。二点委夜蛾主要以幼虫在玉米苗期咬食幼苗茎基部,在茎基部形成明显的蛀孔,且在茎内向上部蛀食,致使玉米植株幼苗心叶枯死或倒伏(李立涛等, 2011),被害株率可达 40%,严重地块缺苗率高达 70% 以上,对玉米的生产造成严重威胁(江幸福等, 2011; 王振营等, 2012)。

虽然二点委夜蛾对玉米的危害逐年加重,但其发生与寄主植物玉米之间相互关系的研究报道较少。已有研究表明,寄主植物所含的化学成分在很大程度上影响着昆虫的行为和取食偏好(Becerra, 1997; 杨宇晖等, 2013),进而影响植食性昆虫的生长发育和种群繁殖,在昆虫的生长进化中起着重要

作用(林克剑等, 2003; 赵曼等, 2013; 秦华伟等, 2017)。因此,了解植食性昆虫对不同寄主植物的适应性对其综合防治具有重要的指导意义。

昆虫的生物学及营养指标在一定程度上可以很好地反映昆虫对食料的偏好和适应程度(朱俊洪等, 2005; 潘锦勇和王兴琴, 2009; 李艳艳, 2013; 丛胜波等, 2014),如发育历期、存活率、幼虫体重(潘锦勇和王兴琴, 2009),相对取食速率、近似消化率、相对生长速率(朱俊洪等, 2005)、食物转化率、食物利用率(潘锦勇和王兴琴, 2009)等,而这些指标特性与食料中营养物质及次生物质含量有一定的相关性(董钧锋等, 2002; 浦名伟, 2007)。到目前为止,关于二点委夜蛾对不同品种玉米的适应性尚未报道,玉米苗中生化物质及次生物质对二点委夜蛾取食影响的研究为空白。因此,本研究测定了田间种植面积较大的 4 种玉米对二点委夜蛾 3 龄、4 龄和 5 龄幼虫的生物学及营养效应,并比较分析不同品种玉米苗的营养物质可溶性糖、蛋白质、氨基酸及次生物质单宁和总酚及蜡质含量与幼虫适应性的关系,以期对二点委夜蛾的综合治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试虫源:实验用二点委夜蛾是 2015 年 7 月采自于山东省德州市,在人工气候室(温度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$, RH 70% \pm 10%, 光周期 16L: 8D)中用人工饲料饲养 7 代后的稳定实验室种群。取同一日孵化的 1 龄幼虫作为供试虫源。

1.1.2 供试玉米:普通玉米品种——郑单 958(河南秋乐种业科技股份有限公司)(以下简称郑单),鲁单 9032(山东爱农种业有限公司)(以下简称鲁单),先玉 335(山东登海先锋种业有限公司)(以下简称先玉);甜玉米——超甜 6(太古县绿宝种业有限公司)(以下简称超甜)。玉米苗种植期间不施用任何农药和化肥。选取 4 叶期的玉米苗为实验材料。

1.2 不同品种玉米苗对二点委夜蛾幼虫的生物学效应及营养效应

挑取同一批次初孵幼虫进行单头饲养(饲喂人工饲料),分别选择发育一致的刚蜕皮 3、4 和 5 龄幼虫,用毛笔将单头幼虫挑入指形玻璃管(7 cm \times 2 cm),棉塞封口,置于人工气候室(温度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$, RH 70% \pm 10%, 光周期 16L: 8D)。饥饿 6 h 排空粪便,称取单头幼虫体重后,每一指形玻璃管中分别接入定量不同品种的新鲜玉米苗,置于人工气候室内饲养,每日更换新鲜玉米苗,分别饲喂至 4 龄、5 龄、6 龄。记录每一龄期幼虫发育至下一龄期幼虫的发育历期、存活数量、鲜重,统计计算幼虫存活率。每个处理设 4 组重复,每一重复取 10 头幼虫。实验同时测定供试 3 种龄期幼虫、4 种品种玉米苗的含水量,以计算供试幼虫及实验期间投放玉米苗的干重。实验结束后将幼虫、虫粪及每日取食剩下的玉米苗在鼓风干燥箱中(80°C)烘干至恒重并记录相应干重。参照 Waldbauer(1968)的方法,计算相对取食速率(relative consumption rate, RCR)、相对生长速率(relative growth rate, RGR)、近似消化率(approximate digestibility, AD)、食物转化率(efficiency of conversion of digested food, ECD)和食物利用率(efficiency of conversion of ingested food, ECI)。

$$\text{RCR} = I / (B \times T);$$

$$\text{RGR} = G / (B \times T);$$

$$\text{AD}(\%) = (I - F) / I \times 100\%;$$

$$\text{ECD}(\%) = G / (I - F) \times 100\%;$$

$$\text{ECI}(\%) = G / I \times 100\%。$$

式中, I 为幼虫的取食量(取食前玉米苗干重 - 取食后玉米苗干重), B 为实验期间幼虫的平均体重[(取食前幼虫干重 + 取食后幼虫干重)/2], T 为实验时间(h), G 为幼虫虫体增重(取食后幼虫干重 - 取食前幼虫干重), F 为虫粪干重。

1.3 不同玉米苗营养物质和次生物质含量的测定

选取 4 种玉米品种 4 叶期玉米苗作为测试样品。每个处理设 3 组重复,每一重复取 10 株玉米。

可溶性糖含量采用蒽酮-硫酸法(Lu *et al.*, 2008)测定,可溶性糖与蒽酮反应,溶液呈蓝绿色,在 620 nm 处有最大吸收峰;蛋白质含量采用 Bradford 法(Bradford, 1976; 郭婷婷等, 2016),蛋白质在酸性溶液中与考马斯亮蓝 G-250 结合,在 595 nm 处有吸收高峰;氨基酸含量采用比色法测定(Moore *et al.*, 1958),氨基酸的 α -氨基可以与水合茚三酮反应生成蓝紫色化合物,在 570 nm 有特征吸收峰;单宁和总酚含量采用磷钼钨酸比色法,在碱性环境下单宁、酚类物质将磷钼钨酸还原,生成蓝色化合物,在 760 nm 处有最大吸收峰。以上物质含量均使用苏州科铭生物技术有限公司生产的微量法试剂盒进行测定,在酶标仪[EMax Plus Molecular Devices, 美谷分子仪器(上海)有限公司]上进行。

采用氯仿法(周小云等, 2007)测定玉米苗表层蜡质含量:称取 2 g 左右的供试新鲜玉米苗先于室温下置于 30 mL 氯仿中,30 s 后马上取出;然后将处理后的样品加入到同样体积的 60°C 氯仿中,30 s 后取出,提取液自然挥发后,称取蜡质质量,计算蜡质含量。

1.4 数据分析

数据分析采用 SPSS 21.0 软件。各处理间二点委夜蛾的生物学指标、营养指标、玉米苗营养物质及次生物质含量间的差异性采用 Tukey 氏检验($P < 0.05$)进行分析;玉米苗营养物质及次生物质含量与二点委夜蛾生物学指标和营养指标的相关性采用线性回归法进行分析。

2 结果

2.1 不同品种玉米苗对二点委夜蛾幼虫的生物学效应

二点委夜蛾不同龄期幼虫取食 4 种玉米苗的生物学效应见表 1。4 种玉米对不同龄期幼虫发育历期及存活率无显著影响。取食不同玉米苗后,3 龄

幼虫鲜重和干重差异均不显著(鲜重: $F = 1.73$, $df = 3, 156$, $P > 0.05$; 干重: $F = 1.73$, $df = 3, 156$, $P > 0.05$); 4 龄幼虫取食先玉后鲜重和干重显著低于取食其他 3 个品种(鲜重: $F = 7.06$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$; 干重: $F = 7.06$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$); 5 龄幼虫取食鲁单和先玉后鲜重和干重显著高于取食郑单和超甜(鲜重: $F = 13.17$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$; 干重: $F = 13.17$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$)。

表 1 取食 4 种玉米苗的二点委夜蛾幼虫的生物学指标
Table 1 Biological indexes of *Athetis lepigone* larvae feeding on seedlings of four corn cultivars

玉米品种 Corn cultivars	发育历期(d) Developmental duration			存活率(%) Survival rate			鲜重(mg) Fresh weight			干重(mg) Dry weight		
	3 龄 3rd	4 龄 4th	5 龄 5th	3 龄 3rd	4 龄 4th	5 龄 5th	4 龄 4th	5 龄 5th	6 龄 6th	4 龄 4th	5 龄 5th	6 龄 6th
	instar	instar	instar	instar	instar	instar	instar	instar	instar	instar	instar	instar
鲁单 Ludan	3.88 ± 0.11 a	4.25 ± 0.13 a	4.33 ± 0.19 a	88.38 ± 2.53 a	90.91 ± 0.00 a	96.97 ± 3.03 a	16.18 ± 1.05 a	42.28 ± 2.63 a	74.26 ± 3.88 a	3.04 ± 0.19 a	7.24 ± 0.45 a	14.56 ± 0.76 a
先玉 Xianyu	4.03 ± 0.11 a	4.40 ± 0.13 a	4.45 ± 0.15 a	81.20 ± 2.14 a	90.91 ± 0.00 a	96.97 ± 3.03 a	13.76 ± 1.45 a	32.29 ± 1.76 b	69.17 ± 2.01 a	2.58 ± 0.27 a	5.53 ± 0.30 b	13.56 ± 0.39 a
郑单 Zhengdan	3.78 ± 0.12 a	4.15 ± 0.12 a	4.20 ± 0.11 a	88.38 ± 2.53 a	93.94 ± 3.03 a	96.97 ± 3.03 a	15.93 ± 1.15 a	43.99 ± 1.86 a	54.70 ± 1.54 b	2.99 ± 0.21 a	7.53 ± 0.32 a	10.72 ± 0.30 b
超甜 Chaotian	3.93 ± 0.11 a	4.23 ± 0.13 a	4.27 ± 0.10 a	88.38 ± 2.53 a	93.94 ± 3.03 a	96.97 ± 3.03 a	17.62 ± 1.17 a	41.14 ± 1.46 a	55.41 ± 1.79 b	3.30 ± 0.22 a	7.09 ± 0.16 a	10.86 ± 0.55 b

表中所列数据为平均值 ± 标准误,同列数据后不同小写字母表示差异显著 (Tukey 氏检验, $P < 0.05$)。下表同。The data in the table are mean ± SE, and those followed by different small letters in the same column are significantly different (Tukey’s test, $P < 0.05$). The same for the following tables.

2.2 不同品种玉米苗对二点委夜蛾幼虫的营养效应

二点委夜蛾幼虫取食不同品种玉米苗的营养指标(表 2)可以看出,3 龄幼虫取食鲁单、郑单和超甜时相对取食速率、相对生长速率均显著高于取食先玉(RCR: $F = 20.36$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$; RGR: $F = 15.36$, $df = 3, 15$, $P < 0.05$);取食鲁单、先玉和超甜时近似消化率显著高于取食郑单($F = 7.74$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$)。取食 4 种玉米苗对 3 龄幼虫的食物转化率和食物利用率无显著影响($P > 0.05$)。

4 龄幼虫取食超甜时近似消化率显著高于取食其他 3 种玉米($F = 28.07$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$);取食郑单时食物利用率显著高于取食另外 3 种玉米($F = 4.33$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$)。取食 4 种玉米苗对 4 龄幼虫的相对取食速率、相对生长速率和食物转化率无显著影响($P > 0.05$)(表 2)。

5 龄幼虫取食郑单、超甜时相对取食速率与近似消化率均显著高于取食鲁单和先玉(RCR: $F = 71.93$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$; AD: $F = 114.19$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$);取食鲁单和先玉时食物转化率和食物利用率显著高于取食郑单和超甜(ECD: $F = 56.56$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$; ECI: $F = 38.47$,

$df = 3, 156$, $P < 0.05$);取食郑单时相对生长速率显著高于取食其他 3 种玉米($F = 12.84$, $df = 3, 156$, $P < 0.05$)(表 2)。

2.3 不同品种玉米苗营养物质和次生物质含量

不同品种玉米苗营养物质和次生物质含量均有显著性差异(表 3)。其中鲁单、郑单和超甜的可溶性糖含量显著高于先玉($F = 6.71$, $df = 3, 116$, $P < 0.05$);郑单的蛋白质含量显著高于其他 3 个品种($F = 102.95$, $df = 3, 116$, $P < 0.05$);鲁单和郑单的氨基酸含量显著高于超甜和先玉($F = 6.71$, $df = 3, 116$, $P < 0.05$)。鲁单、先玉和郑单的蜡质含量显著高于超甜($F = 9.93$, $df = 3, 116$, $P < 0.05$);先玉的单宁和总酚含量均显著高于其他 3 种玉米(单宁: $F = 25.88$, $df = 3, 116$, $P < 0.05$; 总酚: $F = 66.51$, $df = 3, 116$, $P < 0.05$)。

2.4 玉米苗营养物质和次生物质含量与二点委夜蛾生物学效应和营养效应的相关性分析

经相关性分析发现,3 龄幼虫的存活率、鲜重、干重、相对取食速率和食物转化率与玉米苗可溶性糖含量呈显著正相关(相关系数 r 分别为: 0.957, 0.951, 0.955, 0.952 和 0.994),发育历期和相对生长速率与玉米苗蛋白质含量呈显著正相关(相关系数 r 分别为: 0.979 和 0.997),相对生长速率与玉米

表 2 取食 4 种玉米苗的二点委夜蛾幼虫的营养指标

Table 2 Nutrition indexes of *Athetis lepigone* larvae feeding on seedlings of four corn cultivars

玉米品种 Corn cultivars	相对取食速率(mg/mg·h) Relative consumption rate RCR			相对生长速率(mg/mg·h) Relative growth rate RGR		
	3 龄	4 龄	5 龄	3 龄	4 龄	5 龄
	3rd instar	4th instar	5th instar	3rd instar	4th instar	5th instar
鲁单 Ludan	0.091 ± 0.0054 a	0.135 ± 0.011 a	0.147 ± 0.0077 b	0.0142 ± 0.00086 ab	0.0249 ± 0.0013 a	0.0288 ± 0.00087 b
先玉 Xianyu	0.047 ± 0.0039 b	0.115 ± 0.0046 a	0.125 ± 0.0041 b	0.0078 ± 0.00054 c	0.0215 ± 0.0014 a	0.0246 ± 0.00075 c
郑单 Zhengdan	0.095 ± 0.0036 a	0.137 ± 0.0092 a	0.228 ± 0.0071 a	0.0153 ± 0.00083 a	0.0259 ± 0.0011 a	0.0326 ± 0.0011 a
超甜 Chaotian	0.097 ± 0.0072 a	0.137 ± 0.016 a	0.228 ± 0.0059 a	0.0110 ± 0.0011 b	0.0252 ± 0.0012 a	0.0263 ± 0.0011 bc

玉米品种 Corn cultivars	近似消化率(%) Approximate digestibility AD			食物转化率(%) Efficiency of conversion of digested food ECD			食物利用率(%) Efficiency of conversion of ingested food ECI		
	3 龄	4 龄	5 龄	3 龄	4 龄	5 龄	3 龄	4 龄	5 龄
	3rd instar	4th instar	5th instar	3rd instar	4th instar	5th instar	3rd instar	4th instar	5th instar
鲁单 Ludan	67.4 ± 2.64 a	67.8 ± 1.01 b	61.4 ± 1.79 c	40.7 ± 2.22 a	46.0 ± 3.81 a	26.6 ± 1.72 a	21.8 ± 1.77 a	27.0 ± 1.17 ab	13.4 ± 0.89 b
先玉 Xianyu	63.7 ± 2.67 a	62.7 ± 2.13 b	76.1 ± 1.54 b	30.5 ± 2.08 a	49.2 ± 2.32 a	17.7 ± 1.36 b	23.3 ± 1.93 a	25.1 ± 1.91 ab	18.8 ± 1.41 a
郑单 Zhengdan	55.1 ± 2.68 b	60.3 ± 1.28 b	88.6 ± 0.69 a	38.7 ± 5.35 a	42.7 ± 3.81 a	7.5 ± 1.04 c	22.8 ± 1.53 a	29.3 ± 1.23 a	6.5 ± 0.84 c
超甜 Chaotian	70.6 ± 1.29 a	78.1 ± 1.21 a	92.1 ± 0.86 a	40.7 ± 4.13 a	41.8 ± 3.40 a	7.1 ± 0.50 c	25.0 ± 2.13 a	22.3 ± 1.29 b	6.6 ± 0.47 c

表 3 不同品种玉米苗营养物质及次生物质含量

Table 3 Contents of nutrients and secondary metabolites in seedlings of different maize cultivars

玉米品种 Corn cultivars	营养物质含量 Contents of nutrients				次生物质含量 Contents of secondary metabolites	
	蜡质含量 Wax content (μg/mg)	可溶性糖含量 Soluble sugar content (μg/mg)	蛋白质含量 Protein content (μg/mg)	氨基酸含量 Amino acid content (μmol/g)	单宁含量 Tannin content (μg/g)	总酚含量 Total phenol content (μg/mg)
鲁单 Ludan	742.18 ± 14.23 a	13.03 ± 0.78 a	18.76 ± 0.51 b	26.68 ± 0.64 a	131.21 ± 2.62 c	301.17 ± 1.94 bc
先玉 Xianyu	720.03 ± 18.38 a	10.39 ± 0.38 b	12.61 ± 0.70 d	20.08 ± 0.70 b	168.04 ± 3.82 a	352.41 ± 3.33 a
郑单 Zhengdan	704.84 ± 12.22 a	12.35 ± 0.37 a	30.49 ± 0.49 a	28.34 ± 0.72 a	149.69 ± 2.61 b	295.89 ± 4.15 c
超甜 Chaotian	639.08 ± 10.13 b	13.23 ± 0.34 a	15.69 ± 1.18 c	21.24 ± 0.65 b	135.67 ± 3.76 c	310.05 ± 2.75 b

苗氨基酸含量显著正相关($r = 0.961$),而存活率和相对取食速率与玉米苗总酚含量呈显著负相关(相关系数 r 分别为: -0.974 和 -0.957),食物转化率与玉米苗单宁含量呈显著负相关($r = -0.953$)。4 龄幼虫的鲜重、干重、相对取食速率和相对生长速率与玉米苗总酚含量呈显著负相关(相关系数 r 分别为: -0.998 , -0.997 , -0.967 和 -0.979)。而在 5 龄幼虫的各生物学与营养指标中,仅发现相对生长速率与玉米苗蛋白质和氨基酸含量显著正相关(相关系数 r 分别为: 0.957 和 0.952)。

3 讨论

在昆虫与寄主植物的相互作用中,寄主植物对昆虫的生物学和营养效应是极为重要的研究因素。

生物学和营养指标基本上能反映昆虫生长发育的优劣程度,因此常被用来衡量昆虫对寄主植物的利用情况和适应性(钦俊德和王琛柱, 2001; 李艳艳, 2013)。昆虫对不同寄主植物的取食、选择及适应性有差异。袁志华(2013)发现,不同龄期的亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 幼虫对寄主植物的取食选择性有所不同,其初孵幼虫和 3 龄幼虫偏好取食菜豆和酸模叶蓼,对玉米叶片的选择性最低;5 龄幼虫对这几种植物没有明显的选择偏好。昆虫对同一寄主不同品种的适应性也不同:张云金(2016)通过比较二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 取食 5 个品种玉米的种群参数发现,二斑叶螨对西蒙 6 号与平玉 8 号的适应性较强,对先玉 335 和郑单 958 的适应性较弱。与前人研究类似,本研究发现二点委夜蛾不同龄期幼虫对不同玉米品种的适应性也有差异:3 龄幼虫

取食鲁单和超甜玉米苗后其各项生物学及营养指标均属最佳,3 龄幼虫更适合取食鲁单和超甜;4 龄幼虫取食先玉后其鲜重和干重最低,近似消化率和食物利用率较低,可见 4 龄幼虫最不适合取食先玉;5 龄幼虫取食不同品种玉米苗后其生物学及营养指标各有优劣,相对均衡,说明 5 龄幼虫对 4 种玉米苗未表现出明显偏好。由此可见,随着龄期的增加,二点委夜蛾幼虫食量逐渐增大,二点委夜蛾对玉米品种的适应性提高。

从玉米苗营养物质含量的角度分析,可溶性糖含量的高低影响二点委夜蛾 3 龄幼虫的存活率、鲜重、干重、相对取食速率和食物转化率,而与 4 龄和 5 龄幼虫的各项生物学指标和营养指标没有相关性,可见低龄幼虫的取食更易受可溶性糖含量的影响。玉米苗中蛋白质含量的高低影响 3 龄幼虫的发育历期和相对生长速率及 5 龄幼虫的相对生长速率,氨基酸含量与 3 龄和 5 龄幼虫的相对生长速率显著相关,可见蛋白质和氨基酸含量对低龄和高龄幼虫都有影响。王学林等(2001)发现,棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 低龄幼虫需要足够的水分和游离氨基酸,而淀粉含量低是抑制其存活的主要因子。高龄幼虫更容易受蛋白质和可溶性糖含量的影响。与之类似,二点委夜蛾幼虫在不同龄期适合取食的玉米品种有所不同,可能与不同龄期幼虫发育所需要的营养物质不同有关。关于营养物质对二点委夜蛾取食影响的机理有待于深入研究。

植物次生物质单宁可以减轻昆虫对植物的直接啃食,也可强烈抑制昆虫的生长发育(林凤敏等, 2011),寄主植物总酚的含量对幼虫取食也有较大的负面影响(董钧锋等, 2002; 浦名伟, 2007)。与前人结果一致,本研究结果也表明,二点委夜蛾 3 龄、4 龄幼虫的取食受玉米苗次生物质单宁和总酚含量的影响较大。在 4 种玉米中,先玉的单宁和总酚含量均最高,这可能是 3 龄、4 龄幼虫不适合取食先玉的主要原因;5 龄幼虫进入暴食期,其对玉米单宁和总酚的厌恶性远小于其食量的需要,对 4 种玉米无明显的取食偏好,适应性提高。

总之,在鲁单、先玉、郑单和超甜玉米中,二点委夜蛾 3 龄幼虫对鲁单和超甜的适应性较好,其适应程度与玉米苗可溶性糖、蛋白质、氨基酸、单宁和总酚含量有关;4 龄幼虫对先玉的适应性最低,其适应程度受玉米苗总酚含量的影响;5 龄幼虫对 4 个玉米品种均有较好的适应性,其适应程度受玉米苗蛋白质和氨基酸含量的影响较大。

参考文献(References)

- Becerra JX, 1997. Insects on plants: macroevolutionary chemical trends in host use. *Science*, 276(5310): 253–256.
- Bradford MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248–254.
- Cong SB, Xu D, Wu HH, Wan P, Huang MS, 2014. Effects of Bt cotton on nutrition and feeding behavior of *Prodenia litura*. *Insect Res. Central China*, 10: 12–19. [丛胜波, 许东, 武怀恒, 万鹏, 黄民松, 2014. BT 棉对斜纹夜蛾营养指标及取食行为的影响. 华中昆虫研究, 10: 12–19]
- Dong JF, Zhang JH, Wang CZ, 2002. Effects of plant allelochemicals on nutritional utilization and detoxication enzyme activities in two *Helicoverpa* species. *Acta Entomol. Sin.*, 45(3): 296–300. [董钧锋, 张继红, 王琛柱, 2002. 植物次生物质对烟青虫和棉铃虫食物利用及中肠解毒酶活性的影响. 昆虫学报, 45(3): 296–300]
- Guo TT, Yu ZH, Men XY, Yu Y, Zheng CY, Sun TL, Zhang SC, Li LL, 2016. Cold tolerance and changes in the contents of biochemical substances in different developmental stages of *Aethis dissimilis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomol. Sin.*, 59(12): 1291–1297. [郭婷婷, 于志浩, 门兴元, 于毅, 郑长英, 孙廷林, 张思聪, 李丽莉, 2016. 双委夜蛾不同虫态耐寒性及体内生化物质含量变化. 昆虫学报, 59(12): 1291–1297]
- Jiang XF, Luo LZ, Jiang YY, Zhang YJ, Zhang L, Wang ZY, 2011. Damage characteristics and outbreak causes of *Aethis lepigone* in China. *Plant Prot.*, 37(6): 130–133. [江幸福, 罗礼智, 姜玉英, 张跃进, 张蕾, 王振营, 2011. 二点委夜蛾发生为害特点及暴发原因初探. 植物保护, 37(6): 130–133]
- Li LT, Ma JF, Dong L, Xu YH, Chai TH, Dong JG, Jiang JY, Dong ZP, 2011. Morphology, harm, prevention and control of *Aethis lepigone*. *Chin. Plant Prot.*, 31(8): 22–24. [李立涛, 马继芳, 董立, 许佑辉, 柴同海, 董金皋, 姜京宇, 董志平, 2011. 二点委夜蛾的形态、为害及防控. 中国植保导刊, 31(8): 22–24]
- Li YY, 2013. Tritrophic Interactions among Host Plant, Aphids and Predacious Ladybird. PhD Dissertation, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot. [李艳艳, 2013. 寄主植物-蚜虫-捕食性瓢虫三营养层相互作用关系的研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学博士学位论文]
- Lin FM, Wu D, Lu YH, Zhang YJ, Wang M, Wu KM, 2011. The relationship between the main secondary metabolites and the resistance of cotton to *Apolygus lucorum*. *Acta Phytophy. Sin.*, 38(3): 202–208. [林凤敏, 吴故, 陆宴辉, 张永军, 王沫, 吴孔明, 2011. 棉花主要抗虫次生物质与其对绿盲蝽抗性的关系. 植物保护学报, 38(3): 202–208]
- Lin KJ, Wu KM, Wei HY, Guo YY, 2003. The effects of host plants on growth and development of *Bemisia tabaci* populations in China (Homoptera: Aleyrodidae). *Acta Ecol. Sin.*, 23(5): 870–877. [林克剑, 吴孔明, 魏洪义, 郭予元, 2003. 寄主作物对 B 型烟粉虱生长发育和种群增殖的影响. 生态学报, 23(5): 870–

877]

Lu YH, Qiu F, Feng HQ, Li HB, Yang ZC, Wyckhuys KAG, Wu KM, 2008. Species composition and seasonal abundance of pestiferous plant bugs (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton in China. *Crop Prot.*, 27; 465 – 472.

Moore S, Spackman DH, Stein WH, 1958. Chromatography of amino acids on sulfonated polystyrene resins. An improved system. *Anal. Chem.*, 30(7): 1185 – 1190.

Pan JY, Wang XQ, 2009. Studies on the biological and nutritional effects of various host leaves on the bollworm. *Plant Prot.*, 35(3): 74 – 76. [潘锦勇, 王兴琴, 2009. 不同寄主植物叶片对棉铃虫的生物学和营养效应比较. 植物保护, 35(3): 74 – 76]

Pu MW, 2007. Evaluation of Host Plant Quality and Host Selection Behavior of *Spodoptera litura* (Fabricius). MSc Thesis, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu. [浦名伟, 2007. 斜纹夜蛾寄主质量评价及寄主选择行为研究. 江苏扬州:扬州大学硕士学位论文]

Qin HW, Men XY, Yu Y, Lu ZB, Sun TL, Zhou XH, Li LL, 2017. Effects of host plants on the cold hardiness of *Athetis lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Acta Entomol. Sin.*, 60(2): 205 – 210. [秦华伟, 门兴元, 于毅, 卢增斌, 孙廷林, 周仙红, 李丽莉, 2017. 不同寄主植物对二点委夜蛾幼虫抗寒性的影响. 昆虫学报, 60(2): 205 – 210]

Qin JD, Wang CZ, 2001. The relation of interaction between insects and plants to evolution. *Acta Entomol. Sin.*, 44(3): 360 – 365. [钦俊德, 王琛柱, 2001. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系. 昆虫学报, 44(3): 360 – 365]

Waldbauer GP, 1968. The consumption and utilization of food by insects. *Adv. Insect Physiol.*, 5: 229 – 288.

Wang XL, Wu ZT, Zhou DS, 2001. Survival and nutrition effects of cotton bollworm feeding on wheat. *J. Anhui Agric. Sci.*, 29(2): 181 – 184. [王学林, 吴振廷, 周冬生, 2001. 棉铃虫取食小麦的生存和营养效应. 安徽农业科学, 29(2): 181 – 184]

Wang ZY, Shi J, Dong JG, 2012. Reason analysis on *Proxenus lepigone* outbreak of summer corn region in the Yellow River, Huai and Hai Rivers plain and the countermeasures suggested. *J. Maize Sci.*, 20(1): 132 – 134. [王振营, 石洁, 董金皋, 2012. 2011 年黄淮海夏玉米区二点委夜蛾暴发危害的原因与防治对策. 玉米科学, 20(1): 132 – 134]

Yang YH, Zhang QW, Liu XX, 2013. The relationship between the contents of nutrients and tannins in different cotton varieties and their resistance to *Apolygus lucorum*. *Sci. Agric. Sin.*, 46(22): 4688 – 4697. [杨宇晖, 张青文, 刘小侠, 2013. 棉花营养物质和单宁含量与其对绿盲蝽抗性的关系. 中国农业科学, 46(22): 4688 – 4697]

Yuan ZH, 2013. Study on the Host Plant Species and Preference of the Asian Corn Borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée). MSc Thesis, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing. [袁志华, 2013. 亚洲玉米螟寄主种类及其对寄主植物的选择性研究. 北京:中国农业科学院硕士学位论文]

Zhang YJ, 2016. Identification and Mechanisms of Corn Resistance to *Tetranychus urticae* Koch in Ningxia. MSc Thesis, Ningxia University, Yinchuan. [张云金, 2016. 宁夏主栽玉米品种对二斑叶螨的抗性鉴定及机理研究. 银川:宁夏大学硕士学位论文]

Zhao M, Guo XR, Li WZ, Luo MH, Yan FM, 2013. Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch. *Acta Ecol. Sin.*, 33(15): 4707 – 4714. [赵曼, 郭线茹, 李为争, 罗梅浩, 闫凤鸣, 2013. 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响. 生态学报, 33(15): 4707 – 4714]

Zhou XY, Chen XB, Xu XL, Liu AL, Zou J, Gao GF, 2007. On comparison of extraction methods of epicuticular wax and content of rice leaves. *J. Hunan Agric. Univ. (Nat. Sci.)*, 33(3): 273 – 276. [周小云, 陈信波, 徐向丽, 刘爱玲, 邹杰, 高国赋, 2007. 稻叶表皮蜡质提取方法及含量的比较. 湖南农业大学学报(自然科学版), 33(3): 273 – 276]

Zhu JH, Zhang FP, Ren HG, 2005. Development and nutrition of *Prodenia litura* on four food plants. *Chin. Bull. Entomol.*, 42(6): 643 – 646. [朱俊洪, 张方平, 任洪刚, 2005. 四种食料植物对斜纹夜蛾生长发育及营养指标的影响. 昆虫知识, 42(6): 643 – 646]

(责任编辑: 赵利辉)